基于瘤胃模拟技术的马铃薯茎叶混合青贮料体外瘤胃发酵特性研究

雒瑞瑞　郭艳丽*　韩海珠　李讨讨　隋景巍　冯培功

（甘肃农业大学动物科学技术学院，兰州 730070）

摘　要：本试验采用瘤胃模拟技术（Rusitec）研究了马铃薯茎叶混合青贮料饲粮体外瘤胃发酵特性。采用单因素完全随机设计，将 Rusitec 系统的 8 个发酵罐分为 2 组，分别采用玉米秸青贮料、马铃薯茎叶混合青贮料（马铃薯茎叶与玉米秸按 40:60 混合青贮）配制发酵绵羊饲粮，2 组分别以此为发酵底物，每组 4 个重复，每个重复 1 个发酵罐。试验包括 8 d 的预试期和 2 d 的采样期。结果表明:马铃薯茎叶混合青贮料组的产气量，全期发酵液总氮、氨氮（除了换料后 3 h）和微生物氮含量，换料后 6、9 h 的发酵液丙酸含量均显著高于玉米秸青贮料组（$P<0.05$），甲烷产量、换料后 3 h 的发酵液 pH、换料后 9 h 的发酵液乙酸含量、换料后 6 和 9 h 的发酵液乙酸/丙酸显著低于玉米秸青贮料组（$P<0.05$）。2 组的营养物质降解率和其他瘤胃发酵指标无显著差异（$P>0.05$）。由此可以看出，马铃薯茎叶混合青贮料对绵羊瘤胃体外发酵没有产生不良影响，且有利于减少瘤胃甲烷对环境的污染并且促进了反刍动物对能量和氮的利用。

关键词：马铃薯茎叶；青贮料；瘤胃发酵；瘤胃模拟技术

中图分类号：S826；S816

马铃薯茎叶是我国乃至全世界一种产量很高的农副产品。因其具有较高的粗蛋白质（CP）[1-2]、钙（Ca）、磷（P）含量[2-3]和较低的粗纤维含量[1-3]而成为一种很有潜力的饲料资源。马铃薯茎叶可以制作成青贮料[1-9]，这在改善其适口性的同时不会对反刍动物产生危害[10-11]。但有关马铃薯茎叶青贮料对反刍动物瘤胃发酵影响的研究较少。仅见到 Malecky 等[12]用体外产气法研究了添加 5%糖蜜和 1.5%尿素的马铃薯茎叶青贮料对绵羊瘤胃发酵的影响，该结果表明，马铃薯茎叶青贮料对瘤胃发酵无不良影响。为进一步说明马铃薯茎叶青贮料对反刍动物的影响，本试验利用瘤胃模拟技术（Rusitec）研究了马铃薯茎叶混合青贮料体外瘤胃发酵

收稿日期：2017-09-

基金项目：甘肃省财政厅高校基本科研业务费项目（033-041025）

作者简介：雒瑞瑞（1992-），女，甘肃天水人，硕士研究生，动物营养与饲料科学专业。E-mail：1217300526@qq.com

*通信作者：郭艳丽，教授，博士生导师，E-mail： guoyl@gsau.edu.cn

特性，旨在为马铃薯茎叶的研究与应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

采用单因素完全随机设计，将 Rusitec 系统的 8 个发酵罐分为 2 组，分别采用玉米秸青贮料、马铃薯茎叶混合青贮料（马铃薯茎叶与玉米秸按 40:60 混合青贮）配制发酵绵羊饲粮，2 组分别以此为发酵底物，每组 4 个重复，每个重复 1 个发酵罐。

1.2 发酵底物配方

发酵底物精粗比为 40:60，所需玉米、豆粕、苜蓿干草和小麦秸均采自甘肃农业大学奶牛场，小麦秸剪碎至 2～3 cm，所有原料均为可饲喂状态。2 种青贮料均为本实验室制作。马铃薯茎叶混合青贮料品质参数如下：pH 4.87；氨氮（NH_3-N）含量 21.98 g/kg TN（总氮）；干物质（DM）含量 168.82 g/kg；乳酸（LA）含量 23.89 g/kg；CP 含量 114.28 g/kg；中性洗涤纤维（NDF）含量 556.13 g/kg（LA、CP、NDF 含量均为 DM 基础）；玉米秸青贮料品质参数如下：pH 4.38；NH_3-N 含量 18.77 g/kg TN；DM 含量 197.98 g/kg； LA 含量 31.61 g/kg；CP 含量 62.75 g/kg；NDF 含量 677.30 g/kg（LA、CP、NDF 含量均为 DM 基础）。发酵底物组成及营养水平见表 1。

表 1 发酵底物组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the fermentation substrate (DM basis) g/kg

项目 Items	玉米秸青贮料 Corn stalk silage	马铃薯茎叶混合青贮料 Potato vines and leaves mixed silage
原料 Ingredient/%		
玉米秸青贮料 Corn stalk silage	30.00	
马铃薯茎叶混合青贮料 Potato vines and leaves mixed silage		30.00
苜蓿干草 Alfalfa hay	25.00	25.00
小麦秸 Wheat straw	5.00	5.00
玉米 Corn	23.75	23.75
豆粕 Soybean meal	15.00	15.00
小苏打 $NaHCO_3$	0.75	0.75
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
干物质 DM/（g/kg）	448.13	403.44
粗蛋白质 CP/（g/kg）	133.27	146.87
中洗洗涤纤维 NDF/（g/kg）	494.92	454.24
钙 Ca/（g/kg）	8.43	10.35

磷 P/（g/kg）	1.26	1.37
消化能 DE/（MJ/kg）	10.90	11.84

[1)]预混料为每千克底物提供 The premix provided the following per kg of the substrate：Fe 38 mg，Zn 44 mg，Cu 15 mg，I 0.5 mg，Mn 50 mg，Se 0.3 mg，Co 0.05 mg，VA 354 IU，VD 94.4 IU，VE 1.06 mg。

[2)]消化能为计算值，其余为实测值。DE was a calculated value，while the others were measured values.

1.3 Rusitec 系统条件

Rusitec 系统为日本 Shina-gawa 公司产品。缓冲液参照 McDougall[13]的配方，具体组成如下：$NaHCO_3$ 9.8 g、$Na_2HPO_4\cdot 12H_2O$ 9.3 g、NaCl 0.47 g、KCl 0.57 g、$MgCl_2$ 0.06 g、$CaCl_2$ 0.04 g，用蒸馏水定容至 1 000 mL。瘤胃液从 3 只 9 月龄安装了永久瘘管的小尾寒羊[（体重 20.88±1.75） kg]中采取。每个尼龙袋（8 cm×17 cm,孔径 100 μm，制作参照文献[14]）装 12 g 发酵底物（DM 基础）。缓冲液流速为 0.39 mL/min[15-17]，流出液口筛网孔径为 1.2 mm，搅拌机的搅拌频率为 4~5 次/min，发酵罐内温度为 39 ℃，用通入 CO_2 的方法保持厌氧环境。

1.4 发酵底物的发酵

试验包括 8 d 预试期和 2 d 采样期。于预试期第 1 天早饲前，收集瘤胃液及瘤胃不同部位的食糜。将瘤胃液经 4 层纱布过滤后装入预热的保温瓶内，通入 CO_2 后迅速带回实验室。将瘤胃液和缓冲液分装于已安装于 39 ℃水槽预热的 8 个发酵罐中（400 mL 瘤胃液+400 mL 缓冲液），09:00 在每个发酵罐中放入 1 个装有 70 g 食糜的尼龙袋和 1 个装有 12 g 发酵底物的尼龙袋，于发酵罐中通入 CO_2。预试期第 2 天 09:00 取出装有食糜的尼龙袋，放入 1 个新的装有 12 g 发酵底物的尼龙袋，预试期第 3 天 09:00 取出发酵了 48 h 的装有发酵底物的尼龙袋，再放入 1 个新的。采样期每天 09:00 取出 1 个已消化 48 h 的尼龙袋，同时放入 1 个新的装有发酵底物的尼龙袋。换料过程在 30 min 内完成。

1.5 样品采集

在采样期第 1 天收集 24 h 的总产气，用于测定产气量和甲烷产量。采样期第 2 天采集换料后 0、3、6、9 和 12 h 的发酵液，立即测定 pH 后保存于−20 ℃待测总氮、NH_3-N、尿素氮和挥发性脂肪酸（VFA）含量。于采样期第 2 天收集已消化 48 h 的发酵残渣测定 DM、CP、NDF 和 ADF，用于计算 48 h 瘤胃降解率。计算公式为：

某营养物质的降解率（%）=100×(发酵前该营养物质的含量-发酵后该营养物质含量)/发酵前该营养物质的含量。

1.6 测定方法

发酵液 pH 用酸度计（PHS-3C，上海雷磁仪器厂）测定。产气量用气体流量计（DC-1，日本 Shina-gawa 公司）测定。甲烷产量用气相色谱仪测定（6890N，美国 Agilent 公司），色谱柱为 AT.SE-30 毛细管柱（中国科学院兰州化学物理研究所）。发酵液尿素氮含量用二乙酰-肟法测定，试剂盒购自南京建成生物工程研究所。发酵液 VFA 含量用气相色谱仪测定，采用 30 m×0.32 μm×0.5 μm 毛细管柱（美国 Agilent 公司）。发酵液 NH_3-N 含量参照冯宗慈等[18]的比色法测定。发酵液微生物氮含量计算公式如下：

微生物氮含量(mg/dL)=总氮含量-NH_3-N 含量-尿素氮含量[19]。

瘤胃液总氮含量及发酵底物和发酵残渣的 DM、CP、粗灰分（Ash）、粗脂肪（EE）、Ca 和 P 含量按照杨胜[20]提供的方法测定；发酵底物和发酵残渣的 NDF 和酸性洗涤纤维（ADF）含量按照 Van Soest[21]所述的方法测定。

1.7 数据统计

数据采用 SPSS 19.0 进行 *t* 检验，以 $P<0.05$ 作为差异显著的判断标准。

2 结果与分析

2.1 产气量

由表 2 可知，马铃薯茎叶混合青贮料组的产气量显著高于玉米秸青贮料组（$P<0.05$），甲烷产量显著低于玉米秸青贮料组（$P<0.05$）。

表 2 不同青贮料饲粮的体外瘤胃发酵产气量和甲烷产量

Table 2 Gas production and methane production of *in vitro* rumen fermentation of diets containing different silages mL/g

项目 Items	玉米秸青贮料 Corn stalk silage	马铃薯茎叶混合青贮料 Potato vines and leaves mixed silage	*P* 值 *P*-value
产气量 Gas production	2.10±0.13	2.42±0.11	0.009
甲烷产量 Methane yield	0.17±0.01	0.05±0.01	<0.001

2.2 瘤胃发酵特性

由表 3 可知，马铃薯茎叶混合青贮料组在换料后 3 h 的 pH、9 h 的发酵液乙酸含量、6 和 9 h 的发酵液乙酸/丙酸均显著低于玉米秸青贮料组（$P<0.05$）。马铃薯茎叶混合青贮料组在换料后 9 h 的 pH、6 和 9 h 的发酵液丙酸含量显著高于玉米秸青贮料组（$P<0.05$）。马铃

薯茎叶混合青贮料组全期发酵液总氮、NH_3-N（除了 3 h）和微生物氮含量均显著高于玉米秸青贮料组（P<0.05）。

表 3　不同青贮料饲粮的体外瘤胃发酵特性

Table 3　Characteristics of *in vitro* rumen fermentation of diets containing different silages

项目 Items	采样时间 Sampling time/h	玉米秸青贮料 Corn stalk silage	马铃薯茎叶混合青贮料 Potato vines and leaves mixed silage	*P* 值 *P*-value
pH	0	7.03±0.10	7.02±0.08	0.970
	3	7.28±0.02	7.19±0.05	0.038
	6	7.25±0.05	7.17±0.04	0.114
	9	7.07±0.05	7.16±0.04	0.031
	12	7.08±0.05	7.14±0.03	0.152
乙酸 Acetate acid/%	0	60.39±0.94	69.76±0.73	0.336
	3	60.77±1.02	61.54±0.88	0.293
	6	61.67±0.73	60.99±0.52	0.179
	9	62.46±0.10	61.46±0.29	0.005
	12	61.88±0.33	62.04±0.18	0.411
丙酸 Propionic acid/%	0	14.62±0.24	14.60±0.41	0.925
	3	13.82±0.22	14.29±0.30	0.094
	6	13.41±0.13	14.37±0.31	0.002
	9	13.52±0.23	14.23±0.36	0.023
	12	13.82±0.27	14.42±0.47	0.131
乙酸/丙酸 Acetic acid/propionic acid	0	4.13±0.06	4.03±0.09	0.137
	3	4.37±0.09	4.36±0.14	0.888
	6	4.60±0.03	4.25±0.05	<0.001
	9	4.60±0.10	4.34±0.09	0.018
	12	4.43±0.14	4.31±0.14	0.305
总挥发性脂肪 Total volatile fatty acids/（mmol/L）	0	64.29±10.34	61.10±11.85	0.699
	3	68.27±6.31	74.53±6.53	0.257
	6	70.74±9.02	69.25±9.53	0.829
	9	75.38±11.24	75.23±8.46	0.984
	12	79.58±8.47	74.55±8.54	0.474
总氮 Total nitrogen/（mg/dL）	0	118.69±2.88	150.60±8.66	0.004
	3	180.50±12.80	206.95±16.49	0.044
	6	176.91±20.82	208.08±13.18	0.045
	9	164.98±7.59	193.17±8.55	0.013
	12	136.33±18.73	175.11±14.38	0.026
氨氮 Ammonia nitrogen/（mg/dL）	0	14.06±1.22	17.79±1.40	0.025
	3	13.59±1.69	16.55±1.09	0.064
	6	13.90±1.39	16.67±1.36	0.047
	9	14.97±1.80	18.47±0.97	0.030
	12	12.98±1.40	16.04±0.69	0.019

尿素氮 Urea nitrogen/（mg/dL）	0	0.06±0.01	0.12±0.03	0.051
	3	0.25±0.07	0.29±0.0.05	0.405
	6	0.29±0.06	0.28±0.03	0.722
	9	0.27±0.07	0.23±0.04	0.410
	12	0.20±0.07	0.28±0.06	0.152
微生物氮 Microbial nitrogen/（mg/dL）	0	111.23±13.44	133.22±6.59	0.049
	3	166.00±11.01	198.63±6.93	0.007
	6	162.72±19.68	191.88±11.73	0.044
	9	132.72±22.00	171.13±13.28	0.041
	12	123.54±17.23	159.88±12.59	0.023

2.2 营养物质降解率

由表 4 可知，2 组 DM、CP、NDF 和 ADF 降解率均无显著差异（P>0.05）。

表 4 不同青贮料饲粮的体外瘤胃发酵营养物质降解率

Table 4 Degradation rates of diets containing different silages after *in vitro* rumen fermentation %

项目 Items	玉米秸青贮料 Corn stalk silage	马铃薯茎叶混合青贮料 Potato vines and leaves mixed silage	*P* 值 *P*-value
干物质降解率 Degradation rate of DM	58.36±6.38	57.68±6.06	0.883
粗蛋白质降解率 Degradation rate of CP	75.76±5.96	72.66±7.01	0.526
中性洗涤纤维降解率 Degradation rate of NDF	37.55±7.03	34.61±6.95	0.574
酸性洗涤纤维降解率 Degradation rate of ADF	29.47±7.21	25.99±7.61	0.532

3 讨 论

产气量是反映饲料可发酵程度的指标，饲料可发酵性越强，瘤胃微生物活性越高，产气量就越大[22]。本试验中，马铃薯茎叶混合青贮料组的产气量显著高于玉米秸青贮料组，说明马铃薯茎叶混合青贮料更有利于瘤胃发酵。Malecky 等[12]用体外产气试验比较了马铃薯茎叶青贮料（马铃薯茎叶中加 5%糖蜜和 1.5%尿素）取代 50%苜蓿干草对绵羊瘤胃发酵产气量的影响，结果没有产生显著影响，从而说明马铃薯茎叶青贮料可以取代 50%的苜蓿干草。随着饲料中碳水化合物在瘤胃中被细菌和原虫发酵，产生大量的甲酸、H_2 和 CO_2[23]。瘤胃产甲烷菌能够利用 H_2 和 CO_2 合成甲烷，通过嗳气释放到空气中。这个过程不仅造成饲料能量的损失而且会加重地球的温室效应。本试验中，马铃薯茎叶混合青贮料组的甲烷产量显著低于玉米秸青贮料组，说明马铃薯茎叶混合青贮料有利于饲料能量的利用，可以减少能量损失和甲烷对大气的污染，这一结果与该组在某些时间点的发酵液丙酸含量高于玉米秸青贮料组、乙酸/丙酸低于玉米秸青贮料组的结果一致。因未见到相关研究，所以不好做比较分析。

瘤胃液 pH 的高低对瘤胃纤维素分解菌的活性有重要影响，纤维素分解菌降解纤维类物

质的适宜 pH 一般大于 6.3，当瘤胃液 pH 低于 6.3 时，能部分抑制纤维素分解菌的活性；而当 pH 低于 6.0 时，纤维素分解菌的活性则被完全抑制[24]。本试验中，2 组不同时间点的发酵液 pH 在 7.02~7.28，均处于纤维素分解菌所需要的 pH 范围内，说明马铃薯茎叶混合青贮料对纤维素分解菌的活性不会产生不良影响。

当瘤胃发酵产生较高含量的乙酸时，甲烷产量随之提高；而当瘤胃液丙酸含量增高时，甲烷产量降低[25]。本试验中，马铃薯茎叶混合青贮料组换料后 9 h 的发酵液乙酸含量显著低于、换料后 6 和 9 h 的发酵液丙酸含量显著高于玉米秸青贮料组的结果与其甲烷产量低的结果一致。

瘤胃微生物可以产生蛋白质水解酶，在酶的催化作用下，饲料 CP 可在不同程度上被降解为肽类、氨基酸和氨，瘤胃微生物可以用 CP 降解产物作为原料合成微生物蛋白。本试验中，马铃薯茎叶混合青贮料组发酵液的总氮含量显著高于玉米秸青贮料组，可能是由于马铃薯茎叶混合青贮料组饲粮的 CP 含量（146.87 g/kg）高于玉米秸青贮料组（133.27 g/kg）所致。瘤胃液的 NH_3-N 含量取决于饲粮蛋白质的含量以及其降解特性、流出速率等。在饲粮蛋白质的降解率变化不大的情况下，饲粮蛋白质的含量是影响瘤胃液 NH_3-N 含量最主要的因素[25]。本试验中，马铃薯茎叶混合青贮料组的发酵液 NH_3-N 含量高于玉米秸青贮料组，可能是由于马铃薯茎叶混合青贮料组发酵液总氮含量高于玉米秸青贮料，而 2 组的 CP 降解率相近所致。Satter 等[26]研究表明，瘤胃液 NH_3-N 的正常含量介于 0.8~56.1 mg/dL。本试验不同时间点的发酵液 NH_3-N 含量（12.98~18.47 mg/dL）均位于正常范围。据报道，瘤胃液尿素酶的活性很高，尿素被降解成氨的速度是氨被同化速度的 4 倍，故瘤胃液尿素氮的含量较低[27]。本试验中，2 组发酵液尿素氮的含量也较低且 2 组间无显著差异的结果说明，发酵液中的尿素酶的活性相当。另外，马铃薯茎叶混合青贮料组全期发酵液微生物氮含量显著高于玉米秸青贮料组，是由马铃薯茎叶混合青贮料组发酵液 NH_3-N 含量较高所致。

本试验中，2 组的营养物质降解率均无显著差异的结果说明，2 种青贮料所引起的瘤胃环境的改变还不足以表现在对营养物质的降解上，2 组发酵液总挥发性脂肪酸(TVFA)含量无显著差异的结果也说明了这一点。Malecky 等[12]采用体外产气试验也得到了类似结果，马铃薯茎叶青贮料组与苜蓿干草组的 DM、NDF 和 CP 降解率均无显著差异。

4 结　论

马铃薯茎叶混合青贮料对绵羊瘤胃体外发酵没有产生不良影响，且有利于减少瘤胃甲烷对环境的污染并且促进了反刍动物对能量和氮的利用。

参考文献：

[1] MUCK R E,WEINBERG Z G,ROUSE D I,et al.Ensiling of potato vines[J].Transactions of the Asae,1999,42(3):565–572.

[2] 何玉鹏,郭艳丽,秦士贞,等.添加米糠和小麦麸对不同品种马铃薯茎叶青贮品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(10):3311–3318.

[3] 杨闻文,付晓悦,杨彪,等.不同物料对马铃薯茎叶青贮特性和发酵品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(11):3643–3648.

[4] 徐亚姣,李长慧.不同生物制剂对青贮马铃薯茎叶品质的影响[J].安徽农业科学,2009,37(27):13010–13012,13066.

[5] 张敏,史静,刘建荣,等.不同水分和甲酸添加量对马铃薯茎叶青贮品质的影响[J].青海草业,2014,23(2):10–14,39.

[6] 杨永在,王长水,梁艺洵,等.不同添加物对马铃薯茎叶青贮品质的影响[J].中国草食动物科学,2015,35(5):34–38,49.

[7] 谢婉,杨喜珍,杨利,等.添加物料和菌剂对日喀则地区马铃薯茎叶青贮品质的影响[J].草业科学,2017,34(1):173–185.

[8] 雒瑞瑞,郭艳丽.马铃薯茎叶制作青贮饲料的研究进展[J].中国饲料,2017(4):34–37.

[9] 何玉鹏.不同添加剂对马铃薯茎叶青贮特性和发酵品质的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2015.

[10] WINKLER A,WEBER F,RINGSEIS R,et al.Determination of polyphenol and crude nutrient content and nutrient digestibility of dried and ensiled white and red grape pomace cultivars[J].Archives of Animal Nutrition,2015,69(3):187–200.

[11] NICHOLSON J W G,YOUNG D A,MCQUEEN R E,et al.The feeding value potential of potato vines[J].Canadian Journal of Animal Science,1978,58(4):559–569.

[12] MALECKY M,GHADBEIGI M,ALIARABI H,et al.Effect of replacing alfalfa with processed potato vines on growth performance,ruminal and total tract digestibility and

blood metabolites in fattening lambs[J].Small Ruminant Research,2017,146:13–22.

[13] MCDOUGALL E I.Studies on ruminant saliva.1.The composition and output of sheep's saliva[J].Biochemical Journal,1948,43(1):99–109.

[14] GRESNER N,WICHERN A,LUMPP L,et al.Effects of grass silages with two levels of free amino acids on degradation of amino acids and fixation of nitrogen in bacterial protein in bovine ruminal fluid using the rumen simulation technique (Rusitec)[J].Animal Feed Science and Technology,2015,202:1–11.

[15] 鞠九洲,郭艳丽,何玉鹏,等.应用Rusitec系统研究壳聚糖对体外瘤胃发酵特性的影响[J].动物营养学报,2013,25(8):1851–1859.

[16] 何玉鹏,郭艳丽,鞠九洲,等.不同精粗比饲粮中添加壳聚糖对体外瘤胃发酵甲烷产量和发酵特性的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3433–3442.

[17] 韩海珠,郭艳丽,郑琛,等.用 Rusitec 系统研究两种粒度日粮对绵羊瘤胃发酵特性的影响[J].中国畜牧兽医,2017,44(5):1375–1381.

[18] 冯宗慈,高民.通过比色测定瘤胃液氨氮含量方法的改进[J].畜牧与饲料科学,2010(6):40–41.

[19] 郑琛.外源添加甘露寡糖对绵羊养分消化代谢、瘤胃发酵、消化道食糜流通量及免疫的影响[D].博士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2012.

[20] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:中国农业大学出版社,1993:19–61.

[21] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber,neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition[J].Journal of Dairy Science,1991,74(10):3583–3597.

[22] 雷冬至,金曙光,乌仁塔娜.用体外产气法评价不同粗饲料与相同精料间的组合效应[J].饲料工业,2009,30(3):30–33.

[23] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004:328–336.

[24] MOULD F L,ØRSKOV E R.Manipulation of rumen fluid pH and its influence on cellulolysis in sacco,dry matter degradation and the rumen microflora of sheep offered either hay or concentrate[J].Animal Feed Science and Technology,1983,10(1):1–14.

[25] 郝正里.反刍动物营养学[M].兰州:甘肃民族出版社,2000:65–130.

[26] SATTER L D,ROFFLER R E.7-Influence of nitrogen and carbohydrate inputs on rumen fermentation[M]//HARESIGN W,COLE D J A.Recent Developments in Ruminant Nutrition.Amsterdam:Elsevier,1981:115–139.

[27] 韩正康,陈杰.反刍动物瘤胃的消化和代谢[M].北京:科学出版社,1988:86.

A Study on *in Vitro* Rumen Fermentation Characteristics of Potato Vines and Leaves Mixed Silage Based on rumen simulation technique

LUO Ruirui GUO Yanli* HAN Haizhu LI Taotao SUI Jingwei FENG Peigong

(*College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the *in vitro* rumen fermentation characteristics of potato vines and leaves mixed silage using rumen simulation technique (Rusitec). A complete one-factor randomized design was used. Eight fermentation tanks of Rusitec system were divided into two groups with 4 replicates per group and 1 tank per replicate. Corn stalk silage and potato vines and leaves mixed silage [potato vines and leaves and corn stalk (40:60) were mixed for silage] were used to prepare diets for sheep, respectively, and the two groups used the diets as fermentation substrates, respectively. The study consisted of an 8 d pre-test period and a 2 d sampling period. The results showed as follows: compared with corn stalk silage group, potato vines and leaves mixed silage group had significantly higher gas production, contents of total nitrogen, ammonia nitrogen (except 3 h after substrate replacement) and microbial nitrogen in fermentation fluid for whole period, and propionic acid content in fermentation fluid at 6 and 9 h after substrate replacement ($P<0.05$), and had significantly lower methane production, fermentation fluid pH at 3 h after substrate replacement, acetic acid content in fermentation fluid at 9 h after substrate replacement, and acetic acid/propionic acid in fermentation fluid at 6 and 9 h after substrate replacement ($P<0.05$). There were no significant effects on nutrients degradation rate and other rumen fermentation parameters ($P>0.05$). These results indicate that potato vines

*Corresponding author， professor， E-mail：guoyl@gsau.edu.cn （责任编辑 王智航）

and leaves mixed silage has no negative effects on *in vitro* rumen fermentation, can reduce methane pollution, and promote the utilization of energy and nitrogen in ruminants.

Key words: potato vines and leaves; silage; rumen fermentation; rumen simulation technique